



⑮ **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 101 37 888 A 1**

⑤① Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**F 28 D 9/00**

②① Aktenzeichen: 101 37 888.2  
②② Anmeldetag: 2. 8. 2001  
④③ Offenlegungstag: 16. 5. 2002

**DE 101 37 888 A 1**

③① Unionspriorität:  
661516 13. 09. 2000 US

⑦① Anmelder:  
Ford Global Technologies, Inc., Dearborn, Mich.,  
US

⑦④ Vertreter:  
Müller, Schupfner & Gauger, 80539 München

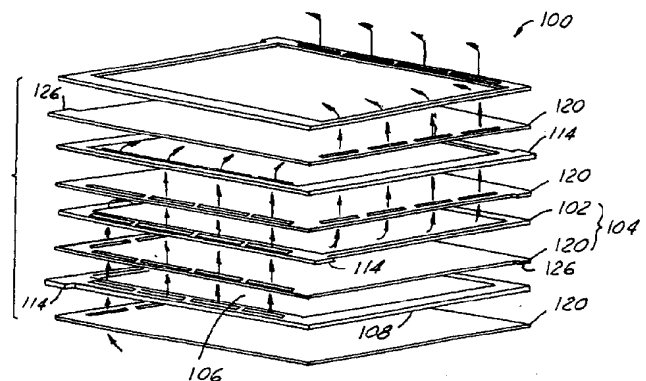
⑦② Erfinder:  
James, Brian David, Alexandria, Va., US; Lomax,  
Franklin Delano, Alexandria, Va., US; Baum, George  
Newell, Potomac, Md., US

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ **Plattenrahmen-Wärmetauscher**

⑤⑦ Bei einem Plattenrahmen-Wärmetauscher oder -Reformer (100) ist eine übereinander gestapelte Anordnung einer Vielzahl von verteiler-Kopfplatten (102) und einer Vielzahl von abwechselnd angeordneten Zwischenplatten (120), die paarweise zu einheitlichen Zellen (104) zusammengefaßt sind, mit einer Vielzahl von Verteileröffnungen für die Hindurchleitung einer Frischgasströmung und einer Abgasströmung versehen, die zwischen benachbarten Zellen senkrecht zueinander ausgerichtet sind, um im wesentlichen eine wechselseitige serielle Querströmung zu erhalten, mit welcher eine Vergrößerung der Reynolds-Zahl erreichbar ist.



**DE 101 37 888 A 1**

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf einen Plattenrahmen-Wärmetauscher oder -Reformer der durch den Oberbegriff des Patentanspruches 1 angegebenen Art.

[0002] Plattenrahmen-Wärmetauscher werden generell für die Bereitstellung relativ kompakter Gerätschaften mit einem niedrigen Druckabfall vorgesehen, wobei die Anwendungsgebiete an einem kritischen Gewicht/Volumen-Verhältnis beurteilt werden. Typische Anwendungsgebiete sind Verdampfer von Klimaanlage in Kraftfahrzeugen, Gasturbinen-Rekuperatoren, Brennstoffzellen und industrielle Wärmetauscher mit einem Wärmeaustausch zwischen Flüssigkeiten. Diese Anwendungsgebiete sind besonders sensitiv bzgl. der Größe der Wärmetauscher und auch bzgl. des Druckabfalls in den Fluidkanälen. Für die bekannten Plattenrahmen-Wärmetauscher kann dabei angegeben werden, daß sie typischerweise mit einer aufeinanderfolgenden Reihe von einzelnen Wärmetauscherzellen ausgeführt sind. Die Zellen sind im wesentlichen parallel zueinander geschaltet, sodaß jede Zelle, die an einer Seite ein heißes Fluid und einer zweiten Seite ein kaltes Fluid führt, die gleiche Temperaturverteilung aufweist wie jede übernächste Zelle innerhalb des Stapels der aufeinanderfolgenden Zellen, die einen vollständigen Wärmetauscher ergeben.

[0003] Die Plattenrahmen-Wärmetauscher oder -Reformer sind bisher vielfach für die Durchführung chemischer Reaktionen benutzt worden, die eine sorgfältig konditionierte Temperatursteuerung erfordern, und zwar als Folge der in Frage stehenden Produktauswahl oder auch als Folge eines streng endothermischen oder exothermischen Verfahrensablaufs, wo eine rasche Erwärmung und Abkühlung benötigt wird. Als ein Beispiel von beträchtlicher Bedeutung kann das Dampfpreformieren von Kohlenwasserstoffen und Alkoholen angegeben werden. Diese Reaktion läuft mit einer reversiblen chemischen Umwandlung von Methan und Wasser in Kohlenstoffmonoxid und Wasserstoff ab, wobei die Reaktion überwiegend endothermisch ist und normal große Mengen eines Katalysators benötigt, um die Reaktion zu beschleunigen. Bei der Verwendung von Plattenrahmen-Wärmetauschern ergibt sich dabei die Schwierigkeit, daß ein wirksamer Wärmeaustausch zwischen der kühleren Strömung des Reforming-Produkts und den heißeren Verteilungsprodukten stattfinden muß, um einen vertretbaren thermischen oder thermodynamischen Wirkungsgrad des Reformersystems zu erzielen. Der Wirkungsgrad des Wärmetauschers wird dabei mit der Temperatur definiert, die in dem Fluid vorliegt, welches einem maximalen Temperaturwechsel unterliegt, geteilt durch die Differenz zwischen den höchsten und niedrigsten Temperaturen in dem Wärmetauscher.

[0004] Die gegenwärtigen Technologien befassen sich hauptsächlich mit Plattenrahmen-Wärmetauschern oder -Reformern mit einer parallelen Anordnung von kleinen Reaktoren. Diese Gestaltung erweist sich als wesentlich kompakter, leichter und weniger teuer als Reformer des Röhrentyps, die immer noch generell im Einsatz sind. Solche Mehrfach-Reformer haben jedoch wesentliche Nachteile.

[0005] Als Folge der massiven Parallelanordnung einer Vielzahl von kleineren Reaktoren wird eine niedrige Strömungsgeschwindigkeit und damit auch ein entsprechend niedrige Reynolds-Zahl erhalten sowie eine niedrige laminare Strömung. Dieser Nachteil ist deshalb kritisch, weil eine niedrigere laminare Strömung die Wärmeübertragungsraten verringert und auch das Vermischen der Reaktionspartner in den Reaktorstrukturen, womit die Faktoren angesprochen sind, die gemeinsam mit der Reynolds-Zahl die Abmessungen eines Reformers bestimmen. Eine niedrigere

Reynolds-Zahl erfordert grundsätzlich einen größeren Reformer, wodurch die Kosten des Reformersystems erhöht werden.

[0006] Die Vervielfachung der Systembauteile ergibt andererseits auch eine entsprechend komplexe Ausführung, die dazu führen kann, daß die Verteilung eines Fluids nicht gleichbleibend ist und es zur Ausbildung von Totzonen kommt, in welchen die Strömung des Fluids äußerst schwach ist und daher ein Wärmeaustausch wenn überhaupt nur äußerst gering ist. Schließlich ist für die bekannten Systeme auch noch auf den Nachteil hinzuweisen, daß eine kontrollierte innere Freigabe eines beliebigen Reaktionspartners sehr schwierig ist, da die kurz bemessene Reaktionszone nur von einem der beiden Enden einer Platte zugänglich ist. Dieser Gesichtspunkt ist besonders wichtig, bei einer Verwendung der Wärmetauscherstruktur als ein katalytischer Brenner, wobei dazu bekannt ist, daß ein katalytisches Verbrennen an Wärmetauscherwänden die Wärmeübertragung örtlich verbessert durch Verhütung einer konvektiven Wärmeübertragung von der Gasphase zu der Wand als Folge der Katalysatoren, die an der Wand angeordnet sind. Wenn das Ausmaß der Brennstoffe oder Oxydationsmittel nicht kontrolliert wird, dann kann aber eine katalytische Verbrennung zu einem sehr hohen Ausmaß stattfinden, wodurch lokale Erhöhungen der Temperatur des Metalls verursacht werden können, die als Heißstellen bezeichnet werden. Solche Heißstellen ergeben eine beträchtliche Schwächung der Struktur und können zu einem mechanischen Ausfall führen. Die Systeme mit einer katalytischen Verbrennung an der Wand müssen deshalb exotische Materialien verwenden und müssen die Verbrennungsgase auf niedrigere Temperaturen bis hin zu einer annehmbaren Größe verdünnen, wodurch sowohl die Kosten als auch der Wirkungsgrad negativ beeinflusst werden.

[0007] Es besteht folglich die Forderung nach der Bereitstellung eines Plattenrahmen-Wärmetauschers oder -Reformers, der diese kritischen Nachteile der bisherigen Systeme mit einer massiven parallelen Anordnung einzelner Zellen vermeidet.

[0008] Gemäß der vorliegenden Erfindung wird ein Plattenrahmen-Wärmetauscher oder -Reformer mit den Merkmalen bereitgestellt, die durch den Patentanspruch 1 angegeben sind.

[0009] Mit dem erfindungsgemäßen Plattenrahmen-Wärmetauscher oder -Reformer wird im wesentlichen eine Erhöhung der Reynolds-Zahl der beiden maßgeblichen Strömungen erhalten, wodurch die Wärmeübertragungskriterien wesentlich verbessert werden ebenso wie auch die Mischungskriterien der Reaktionspartner. Die Baugröße des Wärmetauschers bzw. Reformers oder Reaktors kann daher um mehr als die Hälfte verkleinert werden. Gemäß der Erfindung wird weiterhin auch eine Konstruktion bereitgestellt, die entlang des seriellen Strömungsweges der beiden Strömungen an jeder beliebigen Stelle ein Zuleitung eines Reaktionspartners erlaubt, wobei nur einfache mechanische Maßnahmen zu treffen sind, um das Erscheinen von Heißstellen und anderen unerwünschten chemischen Reaktionen zu kontrollieren und zu vermeiden. Mit der vorliegenden Erfindung wird auch eine Komplexität der Strömungen weitestens vermieden und wird die Anzahl der unterschiedlichen Komponenten verringert, die für den Aufbau des Wärmetauschers benötigt werden. Auch kann die Geometrie der Platten eine wesentliche Vereinfachung erfahren, wobei gleichzeitig Vorkehrungen getroffen sind, um für eine wechselseitige Gegenströmung einen hohen Wirkungsgrad erzielen zu lassen.

[0010] Weitere vorteilhafte und zweckmäßige Ausbildungen der Erfindung sind in den einzelnen Patentansprüchen

angegeben.

[0011] Die Erfindung wird nachfolgend für ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigt

[0012] **Fig. 1** eine Perspektivansicht eines erfindungsgemäßen Plattenrahmen-Wärmetauschers oder -Reformers, der mit einer Geometrie für die Bereitstellung einer seriellen Querströmung ausgebildet ist,

[0013] **Fig. 2A** eine Draufsicht auf eine Verteiler-Kopfplatte zur Verwendung bei dem Plattenrahmen-Wärmetauscher gemäß **Fig. 1**,

[0014] **Fig. 2B** eine Draufsicht auf eine Zwischenplatte zur Verwendung bei dem Plattenrahmen-Wärmetauscher gemäß **Fig. 1**,

[0015] **Fig. 2C** eine Schemadarstellung zur Veranschaulichung der übereinander gestapelten Anordnung der Verteiler-Kopfplatten gemäß **Fig. 2A** und der Zwischenplatten gemäß **Fig. 2B** in abwechselnder Reihenfolge,

[0016] **Fig. 2D** eine Perspektivansicht in auseinandergezogener Darstellung eines Wärmetauschers mit einer Anordnung der Platten der Schemadarstellung in **Fig. 2C**,

[0017] **Fig. 3** eine Schemadarstellung zur Veranschaulichung der Strömungsverhältnisse, die für die Ausbildung einer seriellen Querströmung bei dem Plattenrahmen-Wärmetauscher gemäß **Fig. 1** bzw. gemäß **Fig. 2D** vorgegeben sind,

[0018] **Fig. 4** eine Schemadarstellung zur Veranschaulichung der Strömungsverhältnisse zur Vorgabe einer seriellen Querströmung in einem Plattenrahmen-Wärmetauscher oder -Reformer gemäß einer alternativen Ausführungsform der Erfindung und

[0019] **Fig. 5** eine Schemadarstellung zur Darstellung der Strömungsverhältnisse, die bei einem Plattenrahmen-Wärmetauscher oder -Reformer gemäß einer weiteren alternativen Ausführungsform der Erfindung für die Vorgabe einer seriellen Querströmung und einer Parallelströmung ausgebildet sind.

[0020] In **Fig. 1** ist ein Plattenrahmen-Wärmetauscher oder -Reformer **12** schematisch dargestellt, der in einem System **10** zur Umwandlung von Kohlenwasserstoff-Brennstoffen zu Wasserstoff eingesetzt wird, welcher von elektrochemischen Brennstoffzellen für die Erzeugung von Elektrizität benutzt wird. Der Reformer **12** besteht aus einer Reihe von übereinander gestapelten Zellen **14**, von denen jede Zelle eine Verteiler-Kopfplatte **16** und eine Zwischenplatte **18** aufweist, die also in abwechselnder Reihenfolge gestapelt sind. Der Reformer **12** ist mit einem Einlaßverteiler **20** versehen, über welchen der gestapelten Plattenanordnung ein Frischgas zugeleitet wird, nämlich typischerweise Benzin, natürliches Gas oder ein anderer Kohlenwasserstoff, wobei die Zuleitung an den Verteiler **20** aus einem Vorratsspeicher stattfindet. Die Frischgasströmung wird am anderen Ende des Reformers **12** über eine Sammelauslaß **22** abgeführt, wobei die Abführung mit der Ausbildung einer erwärmten reformierten Gasströmung als Folge eines stattgefundenen Wärmeaustausches vorliegt. Die Frischgasströmung kann neben den vorerwähnten Gasen auch aus einer Kombination von Wasser, Sauerstoff, Stickstoff, Kohlenmonoxid, Kohlendioxid, Wasserstoff und teilweise reagiertem Brennstoff bestehen. Um für diese Frischgasströmung einen Wärmeaustausch zu erhalten, weist der Reformer **12** deshalb einen weiteren Einlaßverteiler **24** auf, über welchen ein heißes Brennerauslaßgas und/ oder ein nur teilweise oder vollständig nicht zur Reaktion gebrachtes Gemisch aus Brennstoff und einem Oxidationsmittel zugeleitet wird. Diese nachfolgend so bezeichnete heiße Abgasströmung wird über einen Sammelauslaß **26** aus dem Reformer **12** entfernt, dann in der Ausbildung einer gekühlten Gasströmung wegen des in dem Reformer stattgefundenen Wärmeaustau-

schers mit der sich zu einer reformierten Gasströmung fortlaufend ausbildenden Frischgasströmung. Das Strömungsbild der beiden Gasströmungen durch den Reformer **12** hindurch wird nachfolgend näher erläutert.

[0021] In **Fig. 2A** ist zunächst eine Verteiler-Kopfplatte **102** mit einer Draufsicht gezeigt, die einen zentralen Bereich **106** für die Anordnung einer Rippenplatte **108** und einen Randbereich aufweist, in welchem mehrere Verteileröffnungen **110** ausgebildet sind. Die Rippenplatte **108** ist mit Rippen **111** oder anderen gleichwertigen Ausformungen ausgebildet, um eine verstärkte Fluidströmung quer über die Fläche des zentralen Bereichs **106** der Verteiler-Kopfplatte **102** zu erhalten. Diese verstärkte Flächenströmung ist auch mit anderen Maßnahmen zu erreichen, wie bsp. mit einem gewellten Blech oder auch mit einer Metallbeschäumung als alternative Vorkehrung zur Erzielung eines verbesserten Wärmeübergangs. Die Realisierung solcher Hilfsmaßnahmen ist generell bekannt, und ebenso bekannt ist auch das randseitige Vorsehen der Verteileröffnungen **110**, die in **Fig. 2A** mit einer Anordnung entlang der linken Begrenzungskante der Platte **102** gezeigt sind. Solche Verteileröffnungen können bei der Verteiler-Kopfplatte **102** auch anders positioniert werden, so bsp. entlang der vorderen oder entlang der hinteren oder auch entlang der rechten Plattenkante, so daß zur Unterscheidung dieser verschiedenen Positionierungsmöglichkeiten die Verteileröffnungen in der Darstellung gemäß **Fig. 3** mit unterschiedlichen Indizes angegeben sind. Mit dieser unterschiedlichen Positionierung der Verteileröffnungen **110l** an der linken Plattenkante, **110r** an der rechten Plattenkante, **110f** an der vorderen Plattenkante und **110b** an der hinteren Plattenkante wird somit die Strömungsrichtung der Frischgasströmung für die Hindurchleitung durch die gestapelte Anordnung der Verteiler-Kopfplatten **102** vorgegeben, wobei an dieser vorgegebenen Strömungsrichtung auch entsprechende Verteileröffnungen **122** gemäß der Darstellung in **Fig. 2B** in den abwechselnd angeordneten Zwischenplatten **120** mitwirken. Auch diese Zwischenplatten **120** können mit Rippen **121** oder auch mit anderen Verformungen versehen sein, um die Flächenströmung eines Fluids über die Oberfläche dieser Zwischenplatten zu verbessern. Auch die Verteileröffnungen **122** können wie die Verteileröffnungen **110** der Verteiler-Kopfplatten **102** unterschiedliche Positionierungen erhalten, nämlich sowohl entlang der linken wie auch entlang der rechten Plattenkante als Verteileröffnungen **122l** und **122r** oder entlang der vorderen oder auch entlang der hinteren Plattenkante als Verteileröffnungen **122f** und **122b**. Sowohl die Platten **102** wie auch die Platten **120** können schließlich noch mit einem der Positionierung dienlichen Vorsprung **114** bzw. **126** versehen sein, um das Stapeln der Platten **102** und **120** sowie die wechselseitige Ausrichtung der Verteileröffnungen **110** und **122** zu koordinieren. Bzgl. der Verteileröffnungen **110** der Verteiler-Kopfplatten **102** soll dabei noch der ergänzende Hinweis erfolgen, daß wenn für die Stapelanordnung eine weitere Zuleitung einer zusätzlichen Fluidströmung eingeplant ist, so bsp. von bestimmten Reaktionspartnern und/ oder Verdünnungsmitteln, dann noch zusätzliche Verteileröffnungen vorgesehen werden, deren Positionierung dann ebenfalls wieder unterschiedlich ausfallen kann und jedenfalls so angelegt ist, daß eine damit beabsichtigte ergänzende Fluidströmung ebenso kontrolliert durch die Anordnung der übereinander gestapelten Platten hindurchgeleitet werden kann.

[0022] Die Verteiler-Kopfplatten **102** und die abwechselnd angeordneten Zwischenplatten **120** sind nun gemäß der Darstellung in den **Fig. 2C** und **2D** paarweise zu einzelnen Zellen **104** zusammengefaßt, die zur Ausbildung eines seriellen Strömungsweges der durch die Verteileröffnungen

**110** und **122** hindurchgeleiteten Gasströme aufeinanderfolgend jeweils um 90° im Uhrzeigergegensinn zueinander versetzt sind. Dieses gegenseitige Versetzen der aufeinanderfolgenden Zellen **104** ist in der Darstellung gemäß **Fig. 2D** über die zueinander versetzte Anordnung einerseits der Vorsprünge **114** und andererseits der Vorsprünge **126** zu verfolgen. Aus der Darstellung ist auch ableitbar, daß der jeweils für eine linke Plattenkante einer Verteiler-Kopfplatte **102** vorgesehene Vorsprung **114** mit dem Vorsprung **126** an der rechten Plattenkante einer zugeordneten Zwischenplatte **120** zusammenpaßt, wenn aus zwei Platten **102** und **120** eine gemeinsame Zelle **104** gebildet wird. Das Zusammenpassen der beiden Platten **102** und **120** zur Ausbildung einer einheitlichen Zelle **104** kann bsp. durch ein Weichlöten, ein Hartlöten oder ein Verkleben vorgenommen werden. Das Hartlöten wird dabei für Hochtemperatur-Anwendungen generell bevorzugt. An den Platten kann außerdem eine dünne Schicht eines katalytischen Materials angebracht werden, um einen verbesserten Wärmeaustausch zu erhalten, so bsp. eine Schicht eines Gamma-Aluminiumoxid-Pulvers mit dispergierten katalytischen Metallteilchen zur Anbringung an einer Platte aus einer Superlegierung oder aus rostfreiem Stahl. Die Anbringung solcher katalytischer Beschichtungen an den einzelnen Platten eines Plattenrahmen-Wärmetauschers oder -Reformers ist im Umfeld der vorliegenden Erfindung allgemein bekannt und muß deshalb hier nicht näher ausgeführt werden.

[**0023**] Gemäß der Schemadarstellung in **Fig. 3** ist für den vorbeschriebenen Wärmetauscher **100** davon auszugehen, daß die aus einem Einlaßverteiler **101** in den Zwischenraum zwischen einer oberen Abdeckplatte **117** und der Verteiler-Kopfplatte **102** der obersten Zelle **104** zugeleitete Frischgasströmung über eine oder mehrere Verteileröffnungen **110f** an der vorderen Plattenkante zu einer oder mehreren Verteileröffnungen **122f** ebenfalls an der vorderen Plattenkante der anschließenden Zwischenplatte **120** weitergeleitet wird. Anschließend erfolgt bei der nächsten Zelle **104** eine Umlenkung zu einer oder mehreren Verteileröffnungen **110b** an der hinteren Plattenkante der nächsten Verteiler-Kopfplatte **102**. Von dort aus wird die Frischgasströmung dann zu einer oder mehreren Verteileröffnungen **122b** ebenfalls an der hinteren Plattenkante der zugeordneten Zwischenplatte **120** weitergeleitet, worauf dann wieder eine Umlenkung zu einer oder mehreren Verteileröffnungen **110f** an einer vorderen Plattenkante der Verteiler-Kopfplatte der nächsten Zelle stattfindet, usw. usw.. Hinter der letzten Zelle verläßt dann die aus dem Einlaßverteiler **101** zugeleitete Frischgasströmung dann in der Ausbildung einer reformierten Gasströmung den Reformer **100** über einen Sammelaußlaß **105**, der an einen Zwischenraum **105a** zwischen der letzten Zelle und einer unteren Abdeckplatte **109** angeschlossen sein kann. Hier versteht sich, daß die Anzahl der hintereinander angeordneten Zellen **104** beliebig groß sein kann und sich in erster Linie nach der für das System konzipierten Zweckvorstellung bestimmt, dabei auch unter Einbeziehung der Strömungsrate, der Aktivität eines verwendeten Katalysators und einer vorgegebenen Spitzentemperatur, womit die hauptsächlichsten Faktoren angegeben werden können, welche die Anzahl der Zellen **104** bestimmen.

[**0024**] In den vorerwähnten Zwischenraum **105a** zwischen der untersten Zelle und der unteren Abdeckplatte **109** wird andererseits eine heiße Abgasströmung zugeleitet, die somit an dem Wärmeaustausch mit der Frischgasströmung beteiligt ist. Diese heiße Abgasströmung wird über eine oder mehrere Verteileröffnungen **110l** an der linken Plattenkante einer untersten Verteiler-Kopfplatte **102**, die für die Darstellung in **Fig. 3** nicht mit einer Zwischenplatte vereinigt ist, an eine oder mehrere Verteileröffnungen **122l** an der linken

Plattenkante der Zwischenplatte **120** der darüber angeordneten Zelle weitergeleitet, von wo sie dann eine Umlenkung zu der einen bzw. zu den mehreren Verteileröffnungen **110r** an der rechten Plattenkante der zugeordneten Verteiler-Kopfplatte **102** erfährt. Anschließend wird die heiße Abgasströmung zu einer oder mehreren Verteileröffnungen **122r** an der rechten Plattenkante der Zwischenplatte **120** der nächsten Zelle weitergeleitet, um von dort aus umgelenkt zu werden zu der einen bzw. zu den mehreren Verteileröffnungen **110l** an der linken Plattenkante der zugeordneten Verteiler-Kopfplatte **102**, usw. usw. Die heiße Abgasströmung wird schließlich aus dem Zwischenraum **103a** zwischen der oberen Abdeckplatte **117** und der Verteiler-Kopfplatte **102** der obersten Zelle in der Ausbildung einer dann gekühlten Gasströmung abgeführt.

[**0025**] Aus der Schemadarstellung der **Fig. 3** wie vorbeschrieben ist somit speziell ableitbar, daß die Frischgasströmung einerseits und die Abgasströmung andererseits durch benachbarte Reformerbereiche **103** und ebenfalls benachbarte Brennerbereiche **105** senkrecht zueinander ausgerichtet sind und dafür insgesamt eine Gegenströmung vorgegeben ist. Dieses Strömungsbild für die beiden Gasströmungen kann als eine serielle Querströmung definiert werden, bei welcher ein Wärmeaustausch hauptsächlich über die Zwischenplatten **120** der einzelnen Zellen besorgt wird. Die Frischgasströmung wird daher allmählich erwärmt und zur Reaktion gebracht, während gleichzeitig die anfänglich heiße Abgasströmung innerhalb des Reformers **100** allmählich gekühlt wird. Der Wärmeaustausch zwischen den beiden Gasströmungen wird dabei durch das Vorsehen von Rippen **111** bzw. **121** oder auch von separaten Rippenplatten **108** verbessert und kann weiter noch dadurch gefördert werden, daß die Frischgasströmung noch zusätzlich über einen zweiten separaten Einlaßverteiler **180** zugeleitet wird. Daneben findet auch eine separate Zuleitung einer zusätzlichen Abgasströmung statt, wofür andererseits ebenfalls ein zweiter Einlaßverteiler **190** vorgesehen ist. Neben einem verbesserten Wärmeaustausch kann damit auch eine verbesserte chemische Reaktion in einem oder mehreren ausgewählten Reformerbereichen **103** und in einem oder mehreren Brennerbereichen **105** erhalten werden, um so bsp. unerwünschte Heißstellen zu vermeiden und unerwünschte chemische Reaktionen zu begrenzen. Es versteht sich auch hier, daß die Anzahl solcher sekundärer Einlässe **180** und **190** für die Frischgasströmung und die Abgasströmung nach oben nicht begrenzt zu werden braucht und auch hier wieder abhängig ist von der mit dem Reformer verfolgten Zweckvorstellung.

[**0026**] In **Fig. 4** ist für eine alternative Ausführungsform eines Reformers **200** ein Strömungsbild für die aus einem Einlaßverteiler **201a** zugeleitete Frischgasströmung einerseits und für die aus einem weiteren Einlaßverteiler **207a** zugeleitete Abgasströmung andererseits gezeigt, daß hier eine serielle Parallelströmung mit zwei zueinander parallelen Zellen verfolgt wird. Die örtlich zueinander senkrecht ausgerichteten Strömungswege der Frischgasströmung einerseits und der Abgasströmung andererseits wie vorbeschrieben für den Reformer **100** gemäß der Ausbildung in **Fig. 3** ist hier beibehalten, jedoch dahin abgewandelt, daß bei jeder übernächsten Zelle die Reformerbereiche **203** einerseits und die Brennerbereiche **213** andererseits mit unterschiedlichen Strömungsrichtungen und damit auch mit unterschiedlichen Temperaturverteilungen behaftet sind, weil die Zellen zu paarweisen Gruppen zusammengefaßt sind, die jeweils im wesentlichen gleiche Strömungsrichtungen und gleiche Temperaturverteilungen haben.

[**0027**] Zu der Ausführungsform des Reformers **200** gemäß der Darstellung in **Fig. 4** kann speziell folgendes festgehalten werden. Die kalte Frischgasströmung wird hier aus

einem primären Einlaßverteiler **201a** und daneben aus einem sekundären Einlaßverteiler **201b** zugeleitet, wobei die Zuleitung in einem ersten Reformerbereich **203a** an wenigstens eine Verteileröffnung **210f** an der vorderen Plattenkante der Verteilerkopfplatte **202a** der obersten Zelle stattfindet. Parallel dazu wird eine zweite Teilmenge der Frischgasströmung in einen zweiten Reformerbereich **203b** ebenfalls an wenigstens eine vordere Verteileröffnung **210f** an der vorderen Plattenkante der Verteiler-Kopfplatte **202** der anschließenden zweiten Zelle zugeleitet. Von der Verteileröffnung **210f** der Verteiler-Kopfplatte **102** wird die Frischgasströmung in den ersten Reformerbereich **203a** an eine vordere Verteileröffnung **222f** der zugeordneten Zwischenplatte **220** weitergeleitet und von dort an die vordere Verteileröffnung **210f** der Verteiler-Kopfplatte **202** der in dem nächsten Reformerbereich **203b** angeordneten Zelle, um dann gemeinsam mit der dort parallel zugeleiteten Frischgasströmung an eine vordere Verteileröffnung **222f** der zugeordneten Zwischenplatte **220** weitergeleitet zu werden. In dem nächsten Reformerbereich **203c** wird dann die primäre Frischgasströmung an eine Verteileröffnung **210b** an der hinteren Plattenkante der nächsten Verteiler-Kopfplatte **202** umgelenkt, während die sekundäre Frischgasströmung eine Hinführung zu einer Verteileröffnung **210f** an einer vorderen Plattenkante der gleichen Verteiler-Kopfplatte erfährt. Die beiden Gasströmungen werden anschließend durch eine hintere Verteileröffnung **222b** und eine vordere Verteileröffnung **222f** der zugeordneten Zwischenplatte hindurchgeleitet, um dann wieder an einer hinteren Verteileröffnung **210b** der Verteiler-Kopfplatte **202** zusammengeführt zu werden, nachdem die sekundäre Frischgasströmung hier eine entsprechende Umlenkung erfahren hat wie zuvor die primäre Frischgasströmung in dem Reformerbereich **203c**. Der weitere Verlauf der beiden Frischgasströmungen ist entsprechend vorgegeben bis hin zu zwei getrennten Sammelauslässen **205a** und **205b**, über welche die dann vollständig reformierten Gasströme getrennt abgeleitet werden.

[0028] Bzgl. der Durchleitung der heißen Abgasströmung durch den Reformier **200** kann andererseits vorausgesetzt werden, daß auch hier zwei Teilströme über zwei Einlaßverteiler **207a** und **207b** an dem untersten Brennerbereich **213a** und an dem unmittelbar darüber angeordneten Brennerbereich **213b** zugeleitet werden. Die Zuleitung der einen Abgasströmung wird über wenigstens eine Verteileröffnung **210l** an der linken Plattenkante der untersten Verteilerkopfplatte **210** an eine entsprechende Verteileröffnung **222l** an der linken Plattenkante der Zwischenplatte **222** des Brennerbereichs **213b** weitergeleitet und dann über eine Verteileröffnung **210l** an der linken Plattenkante der zugeordneten Verteiler-Kopfplatte **202** einer Verteileröffnung **222l** an der linken Plattenkante der Zwischenplatte **220** des anschließenden Brennerbereichs **213c** zugeführt, wo dann aber die Abgasströmung umgelenkt wird hin zu wenigstens einer Verteileröffnung **210r** an der rechten Plattenkante der zugeordneten Verteiler-Kopfplatte **202** usw. usw., um erst später wieder in dem übernächsten Brennerbereich von den Verteileröffnungen der rechten Plattenkanten zu den Verteileröffnungen der linken Plattenkanten im Anschluß an die Zwischenplatte **220** des Brennerbereichs **213c** umgelenkt zu werden. Die weite Abgasströmung, die aus dem Einlaßverteiler **207b** zugeleitet wird, erfährt andererseits eine gleichartige Durchleitung durch die Verteileröffnungen an den linken Plattenkanten, beginnend mit der Verteileröffnung **210l** der Verteiler-Kopfplatte **202** des Brennerbereichs **213b**, so daß erst in dem übernächsten Brennerbereich **213d** eine Umlenkung stattfindet hin zu den Verteileröffnungen an den rechten Plattenkanten, beginnend mit der Verteileröffnung **210r** der Verteiler-Kopfplatte **202** des Brennerbereichs

**213d**. Erst in dem übernächsten Brennerbereich **213f** wird dann wieder eine Umlenkung hin zu den Verteileröffnungen an den linken Plattenkanten vorgenommen. Diese Durchleitung der beiden Abgasströme durch den Reformier **200** kann schon in den Brennerbereichen **213e** und **213f** beendet werden, wenn dort die entsprechenden Sammelauslässe **211a** und **211b** vorgesehen sind. Bei einer größeren Bauausführung des Reformers **200** werden jedoch diese Sammelauslässe erst bei späteren Brennerbereichen eingeplant sein in Abhängigkeit davon, wie weit die beiden Abgasströmungen dann bereits als Folge des stattgefundenen Wärmeaustausches mit den beiden Frischgasströmungen abgekühlt sind.

[0029] Das Strömungsprinzip, das für die alternative Ausführungsform des Reformers **200** realisiert ist, kann noch weiter variiert werden, wenn anstelle von nur zwei Frischgasströmungen und ebenfalls nur zwei Abgasströmungen drei oder auch vier und noch mehr parallele Strömungen eingesetzt werden. Anstelle von jeweils nur zwei seriell geschalteten Reformier- und Brennerbereichen wird dann eine dreifache oder vierfache serielle Schaltung für diese weiteren Teilströmungen vorgesehen, wobei als Vorteil dann eine weitere Vergrößerung der Reynolds-Zahl erhalten wird. Daneben sind auch noch solche Varianten denkbar, bei denen das Strömungsprinzip der Fig. 3 bei dem Reformier **100** mit dem Strömungsprinzip der Fig. 4 bei dem Reformier **200** kombiniert wird und eine weitere Kombination auch mit solchen mehrfachen Strömungen für einen Reformier eingeplant wird, mit welchen bestimmte Zweckvorstellungen verfolgt werden.

[0030] Gemäß der Schemadarstellung in Fig. 5 ist für eine weitere alternative Ausführungsform eines Reformers **300** eine Kombination von zwei Reformern verwirklicht, von denen bei dem einen Reformier eine serielle Durchleitung der Frischgasströmung und der Abgasströmung durch die Verteileröffnungen der einzelnen Platten stattfindet, während bei dem zweiten Reformier eine parallele Strömungsverteilung vorliegt. Der eine Reformier kann dabei die Ausbildung des Reformers **100** gemäß der Darstellung in Fig. 3 aufweisen, wo also eine Frischgasströmung **301** durch die Verteileröffnungen der einzelnen Platten von oben nach unten bis hin zu einem Sammelauslaß **305** hindurchgeleitet wird, während eine Abgasströmung **311** von unten nach oben im Gegenstrom durch andere Verteileröffnungen der Platten hindurchgeleitet wird. Bei dem zweiten Reformier mit der parallelen Strömungsverteilung wird die Frischgasströmung aus einem Einlaßverteiler **304a** unterhalb der Bodenplatte **309** des einen Reformierbereichs mit der seriellen Strömungsverteilung zugeleitet und an einer oberen Verteiler-Kopfplatte **311a** hin zu einem Sammelauslaß **306a** weitergeführt. Gleichzeitig wird eine zweite Teilmenge der Frischgasströmung aus einem weiteren Einlaßverteiler **104b** an der Verteiler-Kopfplatte **311** der nächsten Zelle dieses zweiten Reformierbereichs hin zu einem weiteren Sammelauslaß **306b** weitergeführt, wobei diese Parallelströmung zu einer Abgasströmung entgegengesetzt ist, die an den zugeordneten Zwischenplatten **313a** und **313** dieser beiden Zellen aus zwei entsprechenden Einlaßverteilern **308a** und **308b** zugeleitet und hin zu entsprechenden Sammelauslässen **310a** und **310b** weitergeführt ist. Für diese Kombination zweier unterschiedlicher Reformierbereiche kann vorausgesetzt werden, daß hier eine Optimierung des einen Bereichs zugunsten des anderen Bereichs wieder von der verfolgten Zweckvorstellung abhängt, mit der als wahrscheinlich annehmbaren Vorgabe, daß wenn das einem Wärmeaustausch unterliegende Massenvolumen und der Kostenfaktor überwiegen, dann eher der eine Reformierbereich mit der seriellen Durchleitung der beiden Gasströmungen eine Optimierung erfahren sollte.

[0031] Für die vorliegende Erfindung können somit im wesentlichen die folgenden Zweckvorstellungen verfolgt werden. Es ist einmal eine wesentliche Vergrößerung der Reynolds-Zahl erreichbar, sodaß damit die Wärmeübertragung zwischen den durchgeleiteten Gasströmungen stark verbessert wird. Auch die Kennlinien der Massenübertragung können damit stark verbessert werden, womit die Größe des Wärmetauschers um mehr als die Hälfte verringert werden kann und somit beträchtliche Einsparungen an dem Gewicht, dem Volumen und den Kosten erzielbar sind. Durch die Möglichkeit einer Zuleitung der Reaktionspartner an beliebig vielen Stellen kann die Ausbildung von Heißstellen verhindert werden, sodaß auch unerwünschte chemische Reaktionen vermieden werden. Ein weiterer wesentlicher Vorteil wird auch über die Vereinfachung des Strömungsprinzips erhalten, weil damit das Bauvolumen des Wärmetauschers verkleinert werden kann bei gleichzeitiger Verringerung der Bauteile, womit für ein bevorzugtes Einsatzgebiet die Dampfreformierung von Kohlenwasserstoffen oder Alkoholen angegeben werden kann, bei welchen die Reaktorgroe hauptsächlich durch den Wirkungsgrad der Wärmeübertragung bestimmt wird und eine kontrollierte Freigabe von Oxidationsmitteln das Risiko der Ausbildung von Heißstellen wesentlich verringern kann. Als weiterer bevorzugter Anwendungsbereich der Erfindung kann die Oxidation von Kohlenmonoxid angegeben werden, wobei dafür eine enge Kontrolle der Temperatur, eine kontrollierte Freigabe der Oxidationsmittel und eine verbesserte Massenübertragung bzw. ein verbesserter Stoffaustausch erreichbar ist.

#### Patentansprüche

1. Plattenrahmen-Wärmetauscher oder -Reformer, mit einer übereinander gestapelten Anordnung einer Vielzahl von Verteiler-Kopfplatten, die eine Vielzahl von Verteileröffnungen aufweisen und in einem zentralen Bereich jeweils mit einer Wärmeübertragungsfläche versehen sind, mit einer gleichen Vielzahl von jeweils abwechselnd angeordneten Zwischenplatten, die eine korrespondierende Vielzahl von Verteileröffnungen aufweisen und mit einer jeweils benachbarten Verteiler-Kopfplatte eine einheitliche Zelle bilden, mit einer Frischgasströmung, die aus einem Einlaßverteiler zugeleitet und über Reformerkänäle in aufeinanderfolgenden Reformerbereichen der einheitlichen Zellen weitergeleitet wird, wobei jeder Reformerkanal für eine Umwandlung der Frischgasströmung in eine reformierte Gasströmung mit dem nächsten Reformerkanal über wenigstens eine Verteileröffnung einer Verteiler-Kopfplatte und wenigstens eine Verteileröffnung einer Zwischenplatte verbunden ist, mit einer heißen Abgasströmung, die aus einem weiteren Einlaßverteiler zugeleitet und über Brennerkanäle in aufeinanderfolgenden Brennerbereichen der einheitlichen Zeilen weitergeleitet wird, wobei jeder Brennerkanal für eine Umwandlung der heißen Abgasströmung in eine gekühlte Gasströmung mit dem nächsten Brennerkanal über wenigstens eine Verteileröffnung einer Verteiler-Kopfplatte und wenigstens eine Verteileröffnung einer Zwischenplatte verbunden ist, wobei die Reformerkänäle und die Brennerkanäle an zwei getrennte Sammelaulässe zum Sammeln und Entfernen der reformierten Gasströmung und der gekühlten Gasströmung angeschlossen sind, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Frischgasströmung zwischen benachbarten Zellen-

paaren (104, 211, 306) im wesentlichen senkrecht zu der Abgasströmung ausgerichtet ist und die beiden Strömungen in den Reformerbereichen (103, 203, 303) und in den Brennerbereichen (105, 205, 305) im wesentlichen einer Querströmung ausgesetzt sind.

2. Plattenrahmen-Wärmetauscher oder -Reformer nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens ein zweiter Einlaßverteiler (180) für die Zuleitung einer zweiten Teilmenge der Frischgasströmung an einen der Reformerkänäle in dem Zwischenraum zwischen einer Verteiler-Kopfplatte (102) und einer zugeordneten Zwischenplatte (120) angeschlossen ist.

3. Plattenrahmen-Wärmetauscher oder -Reformer nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens eine zweite Einlaßverteiler (190) für die Zuleitung einer zweiten Teilmenge der heißen Abgasströmung an einen der Brennerkanäle in dem Zwischenraum zwischen einer Verteiler-Kopfplatte (102) und der zugeordneten Zwischenplatte (120) angeschlossen ist.

4. Plattenrahmen-Wärmetauscher oder -Reformer nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß eine dünne Schicht eines Katalysators an den Wärmeübertragungsflächen wenigstens der Zwischenplatten (120) vorgesehen ist.

5. Plattenrahmen-Wärmetauscher oder -Reformer nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Katalysator aus Gamma-Aluminiumoxidpulver besteht, das mittels eines dispergierten katalytischen Metalls an einer metallischen Struktur wenigstens der Zwischenplatten (120) zum Anhaften gebracht ist.

6. Plattenrahmen-Wärmetauscher oder -Reformer nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens die Zwischenplatten (120) aus einer Superlegierung oder aus rostfreiem Stahl bestehen.

7. Plattenrahmen-Wärmetauscher oder -Reformer nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden Platten (102, 120) jeder einheitlichen Zelle (104, 211, 306) durch eine Hartlötung miteinander verbunden sind.

8. Plattenrahmen-Wärmetauscher oder -Reformer nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens ein zweiter Reformerbereich mit einem dritten Einlaßverteiler (304) für die Zuleitung einer dritten Teilmenge der Frischgasströmung vorgesehen ist, die durch den wenigstens zweiten Reformerbereich (302) in eine dritte reformierte Gasströmung umgewandelt wird, wobei der wenigstens zweite Reformerbereich (302) einen zweiten Reformerkanal aufweist und jeder der zweiten Reformerkänäle zwischen einer zweiten Verteiler-Kopfplatte (311a) und einer zugeordneten Zwischenplatte (313a) einer Vielzahl von zweiten einheitlichen Zellen ausgebildet und mit einem gemeinsamen Sammelaula (306) verbunden ist, und daß wenigstens ein zweiter Brennerbereich mit dem weiteren Einlaßverteiler (310) für die Zuleitung einer zweiten Teilmenge der heißen Abgasströmung verbunden ist, wobei der wenigstens zweite Brennerbereich einen zweiten Brennerkanal aufweist, der zwischen einer Verteiler-Kopfplatte und einer zugeordneten Zwischenplatte (313) ausgebildet und mit dem gemeinsamen Sammelaula (308) verbunden ist, wobei die dritte Frischgasströmung und die zweite Abgasströmung durch wenigstens einen parallel geschalteten Strömungsbereich hindurch parallel zueinander verlaufen und entweder eine gleiche Strömungsrichtung oder eine zueinander entgegengesetzte Strömungsrichtung aufweisen.

9. Plattenrahmen-Wärmetauscher oder -Reformer  
nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekenn-  
zeichnet, daß wenigstens jeweils zwei Reformerkänäle  
zu einem gekuppelten Reformerkanal verbunden sind,  
bei welchem jeder Reformerkanal mit einem benach- 5  
barten gekuppelten Reformerkanal über wenigstens  
eine Verteileröffnung (222) einer Verteiler-Kopfplatte  
(220) und wenigstens eine Verteileröffnung (210) der  
benachbarten Zwischenplatte (202) verbunden ist, und  
daß wenigstens jeweils zwei Brennerkanäle zu einem 10  
gekuppelten Brennerkanal verbunden sind, bei wel-  
chem jeder Brennerkanal mit einem benachbarten ge-  
kuppelten Brennerkanal über wenigstens eine Vertei-  
leröffnung (222) einer Verteiler-Kopfplatte (220) und  
eine Verteileröffnung (210) der benachbarten Zwi- 15  
schenplatte (202) verbunden ist, wobei die Frischgas-  
strömung in einem gekuppelten Reformerkanal entge-  
gengesetzt ausgerichtet ist zu der Frischgasströmung in  
dem jeweils benachbarten gekuppelten Reformerkana-  
ls und wobei die Abgasströmung in einem gekuppel- 20  
ten Brennerkanal jeweils entgegengesetzt ausgerichtet  
ist zu der Abgasströmung in einem benachbarten ge-  
kuppelten Brennerkanal.

---

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

---

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -



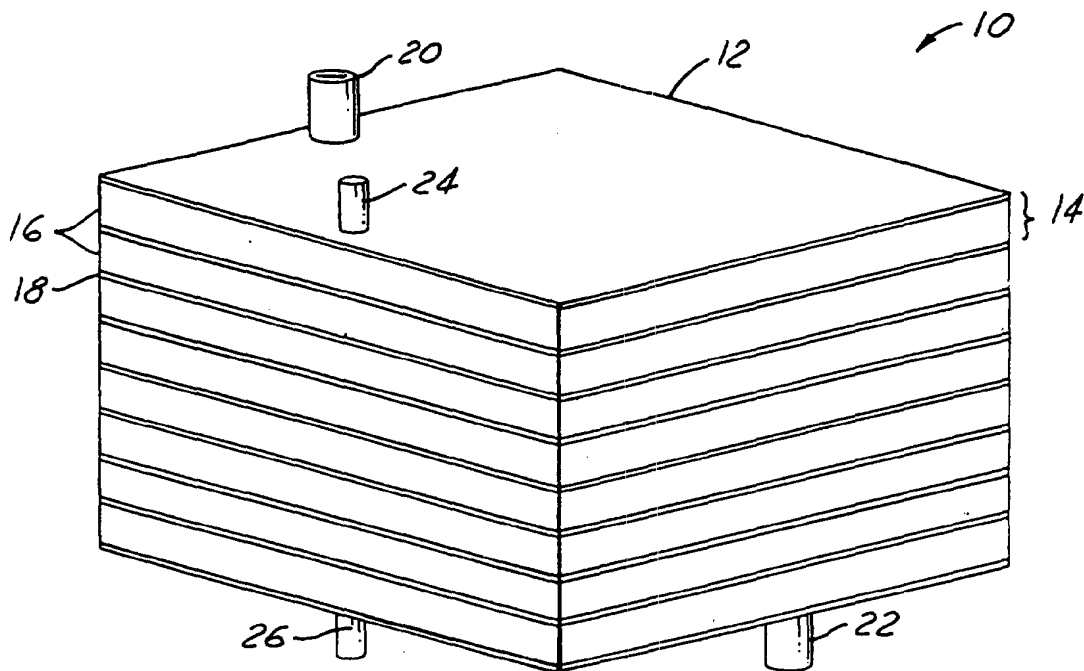


FIG. 1

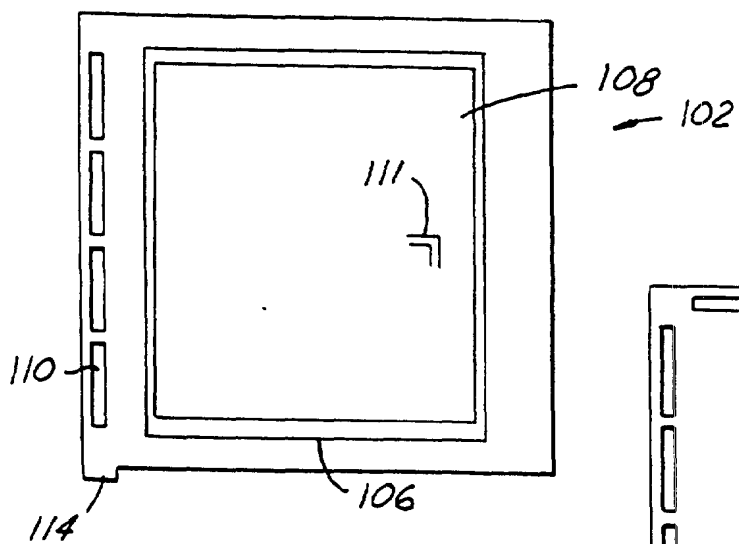


FIG. 2A

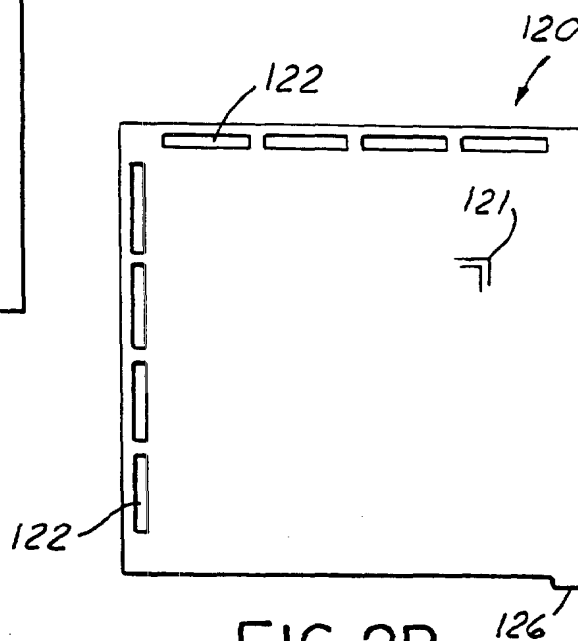


FIG. 2B

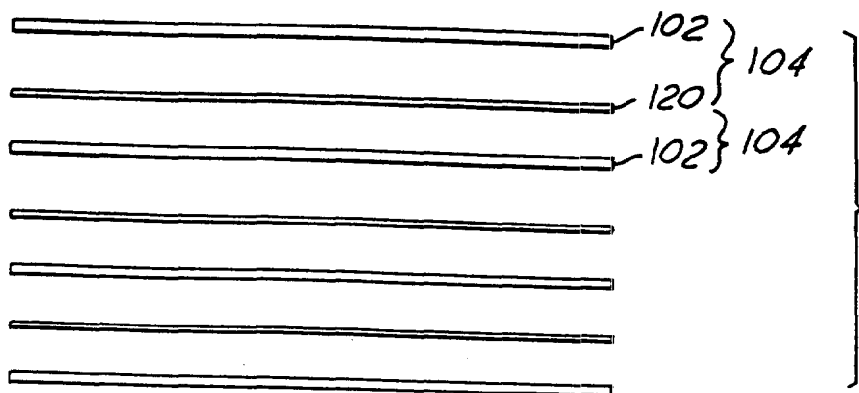


FIG. 2C

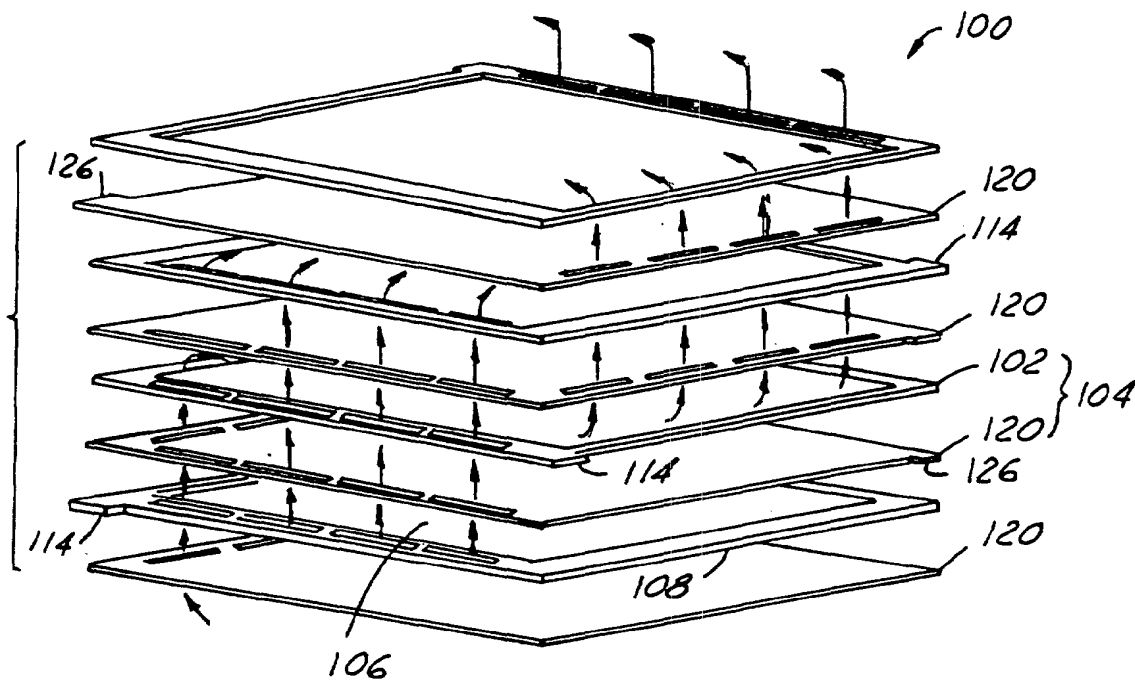


FIG. 2D

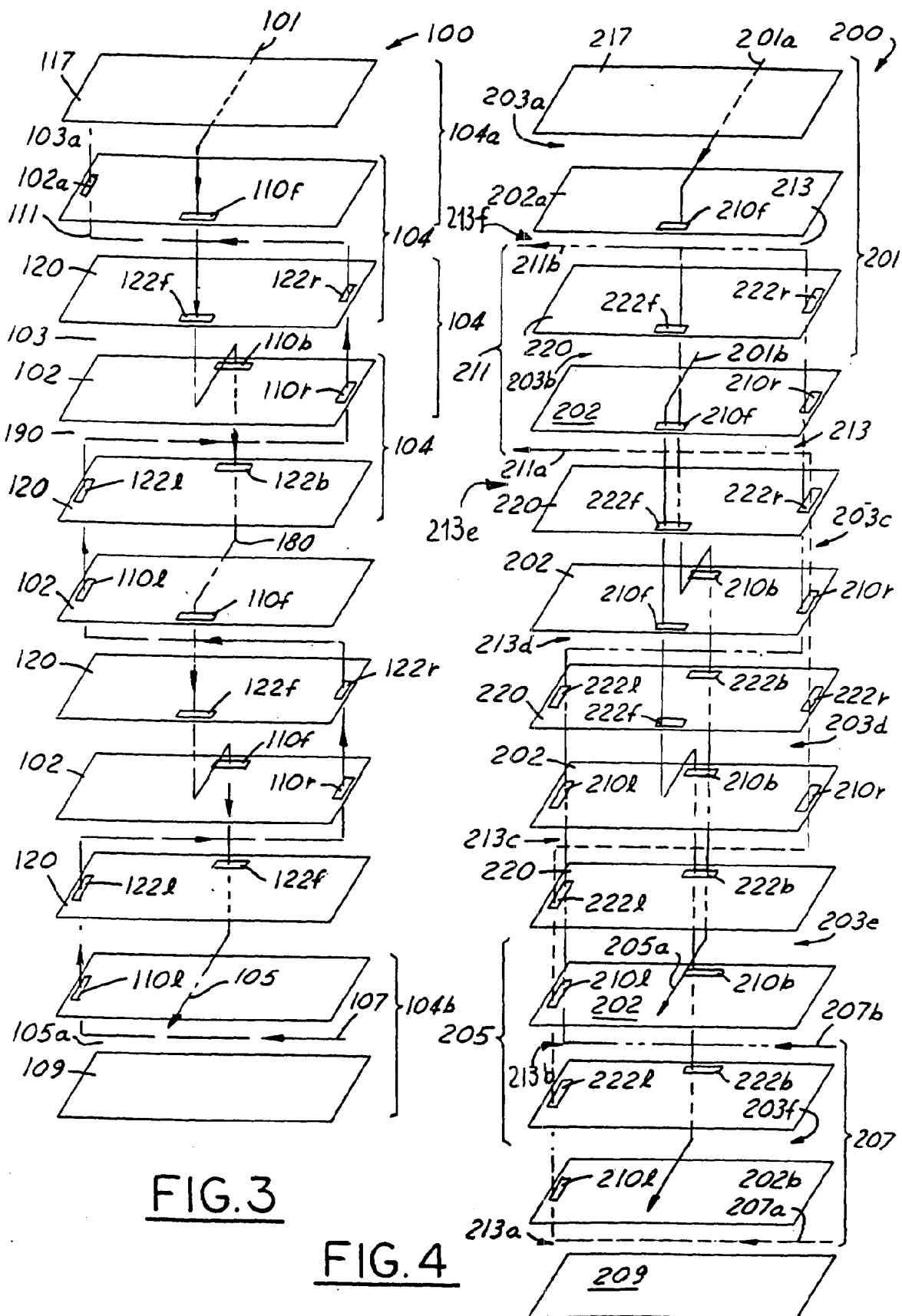


FIG. 3

FIG. 4

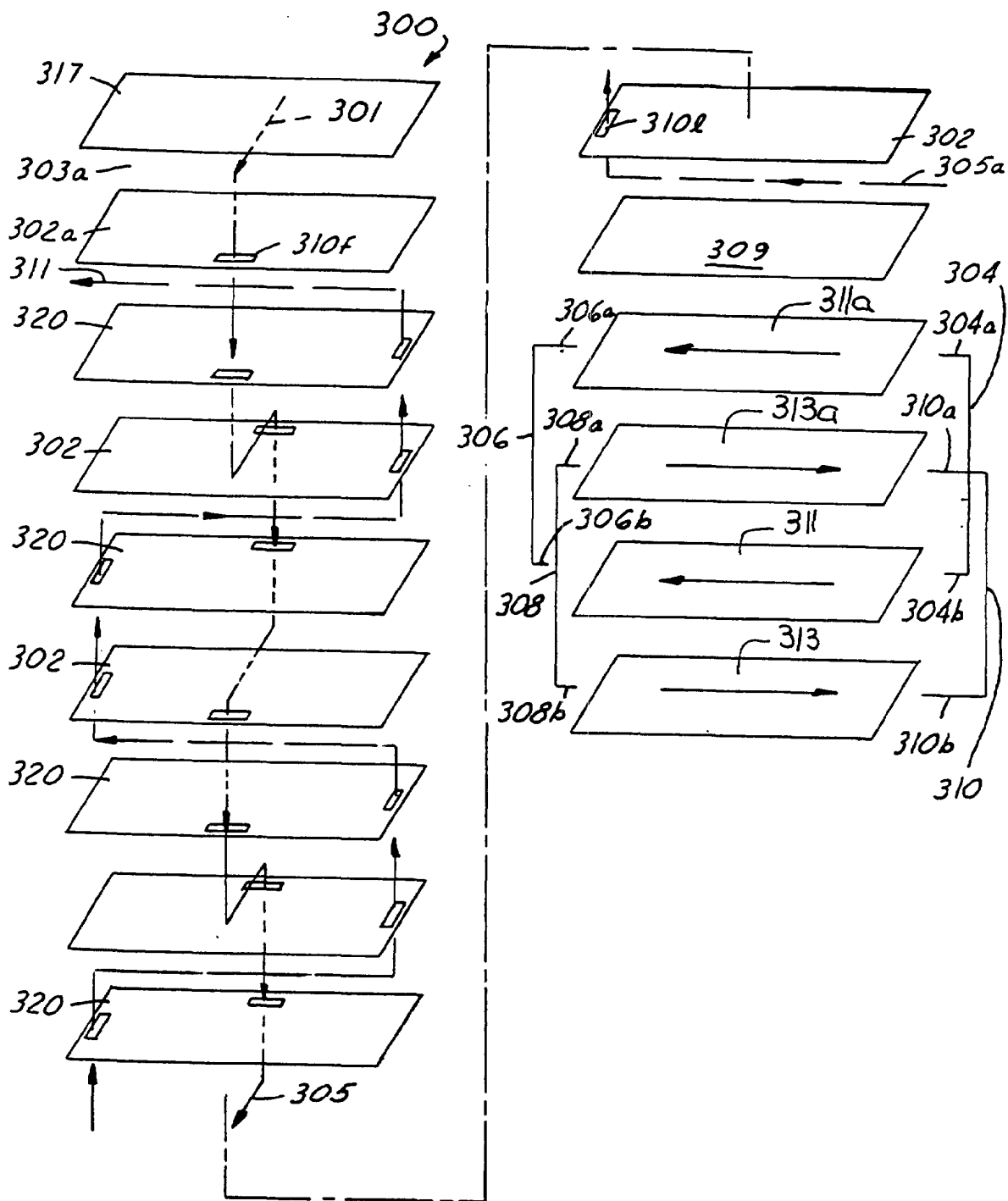


FIG. 5